



Die Tunnelbohrmaschinen „Tosca“ und „Rosa“ auf dem Gelände der Herstellerfirma Herrenknecht in Schwanau.

Bauherrin

Kölner Verkehrs-Betriebe AG
Scheidtweilerstraße 38
50933 Köln
Telefon: 0221 / 547 - 0
Fax: 0221 / 547 - 3950
E-mail: info@kvb-koeln.de

InfoCenter der Nord-Süd Stadtbahn Köln

Bechergasse 2
50667 Köln
Telefon: 0221 / 547 - 47 80
Fax: 0221 / 547 - 47 81
E-mail: info@nord-sued-stadtbahn.de

Impressum

Herausgeber:
Kölner Verkehrs-Betriebe AG
Scheidtweilerstraße 38
50933 Köln
Telefon: 0221 / 547 - 33 04
Fax: 0221 / 547 - 31 15
E-mail: presse@kvb-koeln.de

Verantwortlich i.S.d.P.:
Franz Wolf Ramien

Redaktion und Konzept:
Gudrun Meyer
Kölner Verkehrs-Betriebe AG
Unternehmenskommunikation

Gestaltung:
Algermissen Kommunikations-Design
Text: Dr. Wolfgang Krischke
Fotos: KVB, David Rossi, Christoph Seelbach,
Herrenknecht AG



NORD-SÜD STADTBAHN KÖLN Die Tunnelbohrmaschinen



- Mobile Tunnelfabriken
- Seismische Erkundung des Erdreichs
- Historie des Schildvortriebs

Das Liniennetz 2010: Die Nord-Süd Stadtbahn Köln schafft eine schnelle und bequeme Anbindung der südlichen Stadtteile an die Innenstadt und den Hauptbahnhof.



Inhalt

NORD-SÜD STADTBAHN KÖLN Die Tunnelbohrmaschinen

- 4 Riesenbohrer im Untergrund**
Drei Tunnelbohrmaschinen graben sich durch das Kölner Erdreich
- 6 Die Bohrstrecken**
Vom Bonner Wall und vom Breslauer Platz bis zur Philharmonie
- 8 Mobile Tunnelfabriken**
Die Schildmaschinen sind nicht nur Bohrer. Sie bauen bereits während des Vortriebs eine Röhre aus Betonringen
- 10 Schildmaschine im Querschnitt**
Der Blick ins Innere
- 12 Technische Daten**
Die Schildmaschinen in Zahlen
- 14 Schneiden und stützen**
Die riesigen Schneidräder sind mit speziellen Werkzeugen zum Abbau des Bodens bestückt
- 15 Ring für Ring**
Im Schutz des Schildmantels werden die Tunnelröhren hergestellt
- 16 Maulwurf mit Augen**
Ein seismisches System erkennt Hindernisse im Boden
- 17 Präzise auf Kurs**
Das ausgefeilte Steuerleitsystem
- 18 Antransport**
Per Lastschiff und Tieflader zur Baustelle und dann mit Kränen durch die Förderöffnung
- 20 Herstellung der Tübbinge**
31.034 millimetergenaue Tübbinge werden insgesamt verbaut
- 22 Technik mit Geschichte**
Das Prinzip des Schildvortriebs wurde 1818 patentiert



Riesenbohrer im Untergrund

Die Tunnel der Nord-Süd Stadtbahn Köln werden zum weitaus größten Teil im Schildvortrieb erstellt. Bei diesem Verfahren graben sich Tunnelbohrmaschinen – sogenannte Schildvortriebsmaschinen – durch das Erdreich und erstellen zugleich aus Betonsegmenten die Tunnelröhren, ohne dass dafür die Straße aufgerissen werden muss. Darin liegt ein entscheidender Vorteil des Schildvortriebs gegenüber der offenen Bauweise. Das gilt besonders für dicht besiedelte Stadtteile, wie sie von der Nord-Süd Stadtbahn Köln unterquert werden.

Der Verkehr kann weiter fließen und Behinderungen durch offene Baugruben beschränken sich auf den Bau der Haltestellenbereiche.

Die Belastung der Anwohner durch Lärm und Schmutz ist dadurch deutlich geringer und auch die Tier- und Pflanzenwelt wird geschont.

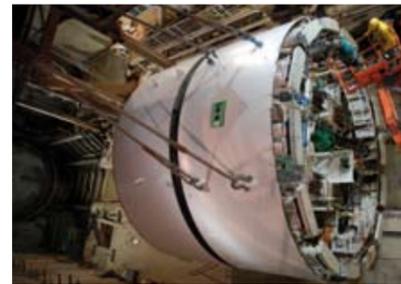
Die Bohrstrecken mitten durch die Stadt



In Köln werden insgesamt drei Schildvortriebsmaschinen eingesetzt. Zwei baugleiche Maschinen fahren im Baulos Süd parallel, aber zeitversetzt die beiden Tunnelröhren von der Haltestelle Bonner Wall aus in Richtung Norden auf. Sie kommen unter dem Kurt-Hackenbergs-Platz

Nachdem die Schildmaschine die Ost-Röhre aufgefahren hat, wird die Maschinenteknik ausgebaut und durch den fertiggestellten Tunnel zurücktransportiert, während der Schildmantel im Boden verbleibt. Anschließend wird vom Startpunkt Breslauer Platz aus die West-Röhre in der

Die Schildmaschinen bewegen sich zwar von Norden und Süden aufeinander zu, aber sie treffen sich nicht. Der Grund: Unter der Philharmonie gibt es einen Bereich, in dem die Riesenbohrer wegen Platzmangels nicht arbeiten können. Deshalb muss dieser kurze Tunnelabschnitt mit Tunnelbaggern



Die Tunnelbohrer werden in Einzelteilen angeliefert, in die Baugrube gehoben und dort zusammengesetzt.

südöstlich der Philharmonie zum Halt. Der Einsatz von zwei Maschinen wurde wegen der langen Tunnelstrecke von 2 x 2.700 Metern aus zeitlichen Gründen erforderlich.

Die Röhren haben einen lichten Innendurchmesser von 7,30 Metern, die Schildmaschinen haben einen Außendurchmesser von 8,40 Metern.

Im Baulos Nord werden die Tunnelstrecken in entgegengesetzter Richtung in zwei Röhren von der Haltestelle Breslauer Platz aus bis zur Nordseite der Philharmonie gebohrt. Da die dortigen Tunnellängen mit rund 240 und 260 Metern bedeutend kürzer sind, reicht hier eine Maschine aus, um im Zeitplan zu bleiben.

gleichen Weise aufgefahren. Der Außendurchmesser der Vortriebsmaschinen jeder dieser Röhren beträgt 6,80 Meter, der lichte Innendurchmesser der fertigen Tunnelröhre beträgt 5,70 Meter und orientiert sich an den Abmessungen der Stadtbahnfahrzeuge. Er ist kleiner als auf dem südlichen Streckenabschnitt, weil die Platzverhältnisse unter den Anlagen der Deutschen Bahn, die hier unterfahren werden, beengt sind. Außerdem müssen auf dieser Vortriebsstrecke keine Haltestellen gebaut werden.

Die Vortriebsmaschinen im Los Süd werden nach Ankunft im Zielschacht auseinandergebaut und abtransportiert. Viele Teile davon können für andere Bauprojekte wiederverwendet werden.

in bergmännischer Stollensicherung unter Druckluft hergestellt werden. Durch die Druckluftstützung wird das Grundwasser aus dem Baubereich herausgedrückt, in dem dann der Ausbruch des Erdreichs vorgenommen und ein rechteckiges Betonbauwerk hergestellt werden kann.



Die Kölner Tunnelbohrmaschinen wurden nach einem Karnevalshit der Kultband „Höhner“ benannt: „Dicke Mädchen haben schöne Namen, heißen Tosca, Rosa oder Carmen“.

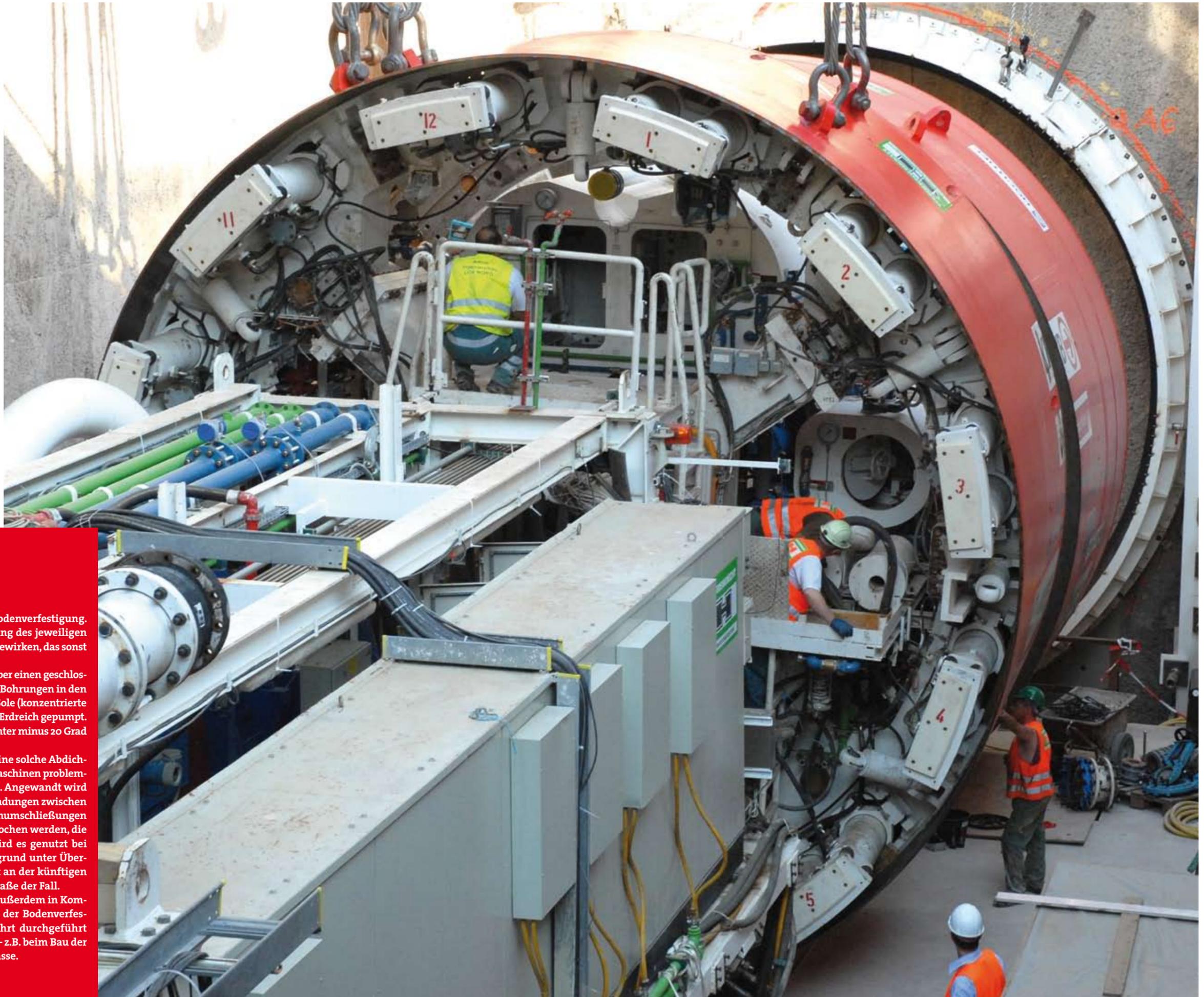
Derzeit ist der Bau der Nord-Süd Stadtbahn die größte ÖPNV-Infrastrukturmaßnahme Deutschlands.

Mobile Tunnelfabriken

Die Schildmaschinen

Es gibt unterschiedlich ausgerüstete Tunnelvortriebsmaschinen, je nachdem ob der Baugrund hart oder weich, trocken oder stark wasserhaltig ist. In Köln kommen sogenannte Mix-Schilde zum Einsatz, die sich vor allem für kiesige und sandige Böden mit hohem Wassergehalt eignen. Sie sind darauf ausgelegt, lockeres Erdreich beim Bohrvorgang zu stabilisieren, um Setzungen zu verhindern. Außerdem sind sie in der Lage, auch größere Steinblöcke zu zerkleinern.

Die Schildmaschinen sind nicht nur Bohrer, sondern zugleich mobile, automatisierte Tunnelfabriken, die bereits während des Vortriebs die Röhren aus Betonringen herstellen.



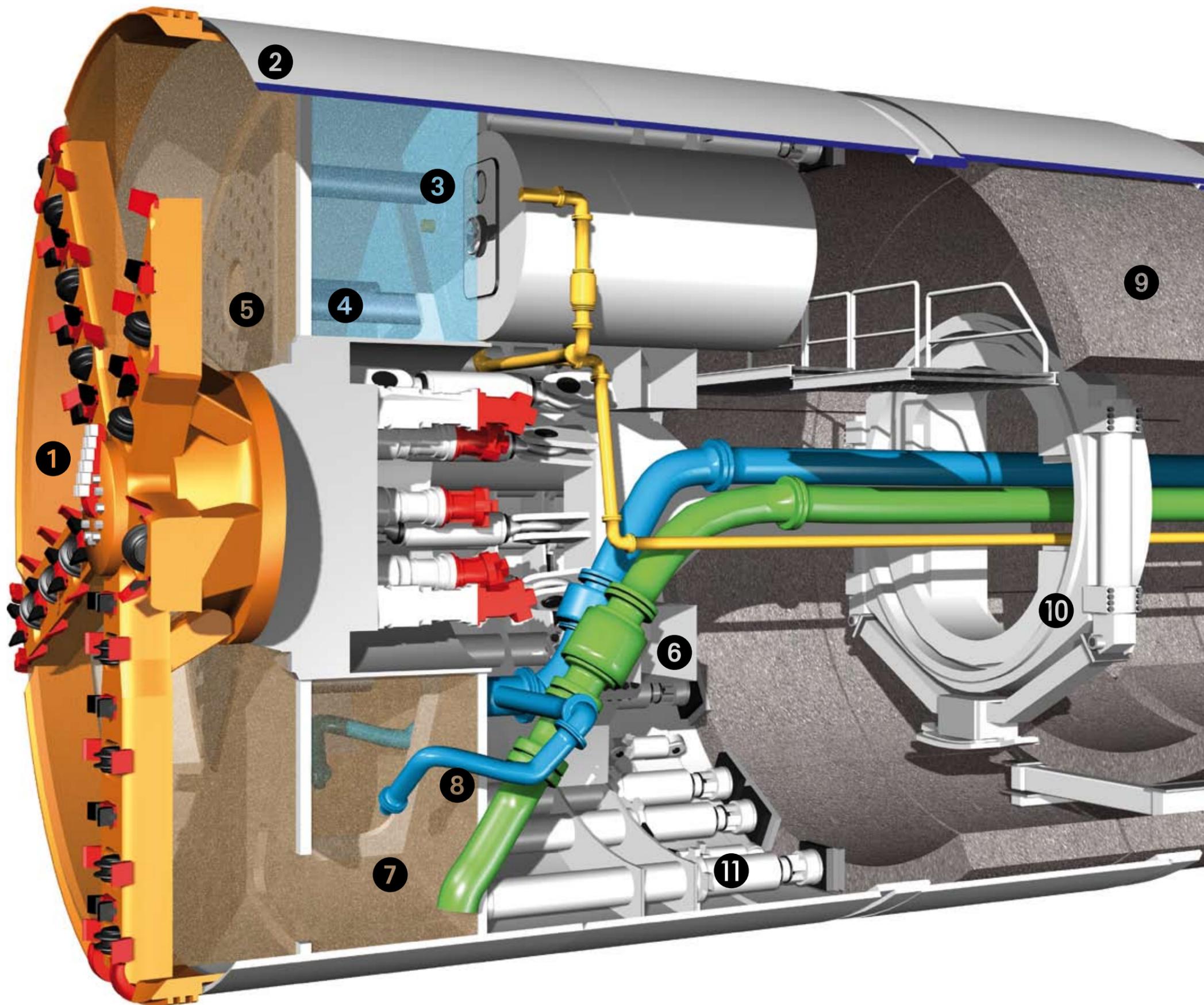
Baugrundvereisung

Die Baugrundvereisung dient der Bodenverfestigung. Vor allem aber soll sie eine Abdichtung des jeweiligen Baubereichs gegen das Grundwasser bewirken, das sonst abgepumpt werden müsste.

Um die Vereisung zu erreichen, wird über einen geschlossenen Kühlkreislauf, der mithilfe von Bohrungen in den Untergrund eingebaut wird, flüssige Sole (konzentrierte Salzlake mit minus 35 Grad) durch das Erdreich gepumpt. Dieses wird dadurch allmählich auf unter minus 20 Grad heruntergekühlt und somit vereist.

Für den eigentlichen Tunnelbau ist eine solche Abdichtung nicht notwendig, da die Schildmaschinen problemlos im Grundwasser arbeiten können. Angewandt wird das Verfahren aber dort, wo die Verbindungen zwischen den Tunnelröhren und den Baugrubenumschließungen für die späteren Haltestellen aufgebrochen werden, die „Querschläge“ entstehen. Zudem wird es genutzt bei Erdaushubmaßnahmen, die im Baugrund unter Überdeckung stattfinden müssen. Dies ist an der künftigen unterirdischen Haltestelle Severinstraße der Fall.

In Köln soll die Vereisungsmethode außerdem in Kombination mit weiteren Maßnahmen der Bodenverfestigung, die im Vorweg der Schildfahrt durchgeführt werden müssen, angewandt werden – z.B. beim Bau der Verflechtungsstrecke in der Bechergasse.



Schildmaschine im Querschnitt

Der Blick ins Innere

Hinter einem Schneidrad **1** mit Schälmessern und Rollenmeißeln befindet sich eine Stahlröhre, der Schildmantel **2**, in dessen Schutz der Tunnel aufgeföhren wird.

Damit der Boden vor dem Schild (die sogenannte Ortsbrust) stabil bleibt, wird der gesamte Raum vor der Druckwand **3** mit einer Stützflüssigkeit (Bentonit-Suspension) gefüllt und ein Druckluftpolster **4** in der Abbaukammer zwischen Druckwand und Tauchwand **5** erzeugt.

Zusammen mit der Suspension wird der gelöste Boden durch eine Förderleitung **6** herausgepumpt. Größere Steinbrocken zerkleinert ein Steinbrecher **7**. Außerhalb des Tunnels werden Erde und Suspension in einer Separieranlage getrennt und die gereinigte Bentonit-Suspension anschließend durch die Speiseleitung **8** der Maschine wieder zugeführt.

Im Schutz des Schildmantels werden Tübbinge **9**, d. h. Fertigteile aus Stahlbeton, mit einem Tübbingerektor **10** eingesetzt. Jeweils sieben Tübbinge und ein Schlussstein ergeben bei dem Tunneldurchmesser im südlichen Baulos einen Ring. Im Baubereich Nord sind es je sechs Tübbinge und ein Schlussstein. Der Hohlraum zwischen Tübbingring und dem Erdreich auf der Außenseite wird kontinuierlich mit Mörtel ausgefüllt.

Die Maschine bewegt sich vorwärts, indem sie sich mit hydraulischen Pressen **11** an dem zuletzt gefertigten Tunnelring abdrückt.

Die Schilde im Los Süd haben einen Durchmesser von 8,40 Meter, der Schild im Los Nord hat einen Durchmesser von 6,80 Meter.



Los Süd

Länge der Vortriebsmaschine: 76 Meter

Gesamtgewicht inkl. Nachläufer: 1.020 Tonnen
– etwa das Gewicht von zwei Einfamilienhäusern

Länge Schild: 9,65 Meter

Gewicht Schildkomponenten: 630 Tonnen

Durchmesser Schild außen: 8,40 Meter

Dicke Schildmantel: 60 Millimeter

Anzahl der Vortriebspresen: 28 Stück

installierte Vortriebskraft: 60.300 KiloNewton – der Schub,
den 60 Boeing 747 zum Abheben brauchen

Antriebsleistung: 1.100 Kilowatt (1.500 PS)

Drehmoment: 5.650 KiloNewtonMeter (kNm)

Stromverbrauch pro Stunde: 2.100 Kilowattstunden (kWh)

Schneidradbestückung: 174 Schälmesser, 19 Rollenmeißel

Anzahl Mitarbeiter im Vortrieb: 4 Schichten à 35 Mann
durchgängig 7 Tage die Woche (beide Maschinen)

Täglich gebohrte Strecke: 10 bis 12 Meter fertiggestellter Tunnel

Tunneldurchmesser innen: 7,30 Meter

Technische Daten der Kölner Schildmaschinen

Los Nord

Länge der Vortriebsmaschine: 47 Meter

Gesamtgewicht inkl. Nachläufer: 574 Tonnen – so viel wie 765 VW Käfer

Länge Schild: 9,15 Meter

Gewicht Schildkomponenten: 360 Tonnen

Durchmesser Schild außen: 6,80 Meter

Dicke Schildmantel: 60 Millimeter

Anzahl der Vortriebspresen: 24 Stück

installierte Vortriebskraft: 44.575 KiloNewton

Antriebsleistung: 440 Kilowatt (600 PS)

Drehmoment: 2.708 KiloNewtonMeter (kNm)

Stromverbrauch pro Stunde: 1.200 Kilowattstunden (kWh) – durchschnittlicher Verbrauch
eines europäischen Haushalts mit vier Personen in drei Monaten

Schneidradbestückung: 38 Schälmesser, 19 Rollenmeißel

Anzahl Mitarbeiter im Vortrieb: 3 Schichten à 13 Mann durchgängig 7 Tage die Woche

Täglich gebohrte Strecke: 6 bis 10 Meter fertiggestellter Tunnel

Tunneldurchmesser innen: 5,70 Meter

Die Nordmaschine ist ähnlich aufgebaut und arbeitet nach demselben Prinzip wie die Schildmaschinen des Südloses.
Durch den kleineren Durchmesser liegen entsprechend geringere Dimensionen vor.

Alle drei Schildmaschinen wurden von der Firma Herrenknecht AG in Schwanau produziert.

Schneiden und stützen

Kräftegleichgewicht unter der Erde

Alle drei Maschinen, die in Köln eingesetzt werden, arbeiten nach demselben Prinzip: Ein riesiges Schneidrad wird von einer Maschine, die im Los Nord 440 und im Los Süd 1.100 Kilowatt stark ist, rotierend durch das Erdreich vorgeschoben. Für diese Aufgabe ist es mit speziellen Werkzeugen zum Abbau des Bodens bestückt:

Die mit einer Hartmetallschneide versehenen Schälmesser, sogenannte Stichel, tragen in einer Schälbewegung das Erdreich an der Ortsbrust ab.

Für härteren Untergrund sind die Disken vorgesehen. Es handelt sich um rotierende, mit gehärteten Schneidringen versehene Rollenmeißel. Dies sind drehbar im Schneidrad gelagerte scheibenförmige Meißel, die Gestein und Erdreich zermahlen. Größere Gesteinsbrocken werden vor der hydraulischen Förderung hinter dem Schneidrad von einem Steinbrecher zerkleinert, bis sie auf eine Kantenlänge von unter 15 Zentimetern gebrochen wurden.

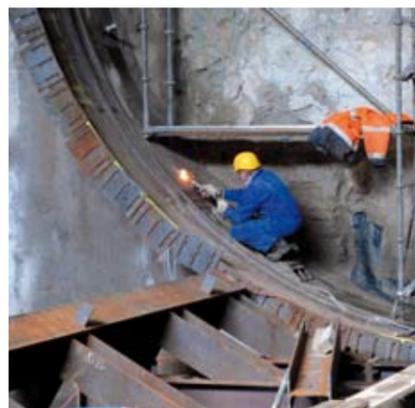
Die Ortsbrust, also das Erdreich im Bereich des Schneidrades, wird durch eine Bentonit-Suspension gestützt. Dabei handelt es

sich um ein unter Druck stehendes Gemisch aus feinkörnigem Ton und Wasser. Die sogenannte Ortsbruststützung hält hier das Kräftegleichgewicht der von außen wirkenden Kräfte aus Baugrund, Grundwasser und Bebauung gegenüber der in den Boden hineindrängenden Vortriebsmaschine und verhindert ein unkontrolliertes Einbrechen des Erdreichs in die Arbeitskammer hinein. Somit werden Setzungsbewegungen des oberhalb liegenden Baugrundes verhindert.

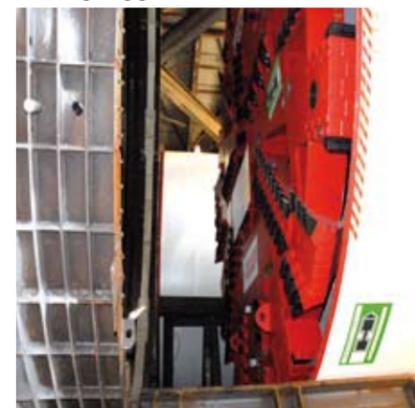
Der an der Ortsbrust abgebaute Boden wird mit dieser Stützflüssigkeit in der Abbau-Kammer vermischt und durch Rohrleitungen an die Oberfläche gepumpt. Dort werden beide Bestandteile getrennt. Die Stützflüssigkeit gelangt in einer Art Kreislauf erneut zur Kammer und wird wiederverwendet. Nur in besonderen Situationen – beispielsweise wenn die Werkzeuge, die zum Abbau des Bodens auf dem Schneidrad befestigt sind, gewechselt werden müssen – wird die Stützflüssigkeit aus der Kammer abgelassen und durch Druckluft ersetzt, um Arbeiter dort einschleusen zu können.

Täglich werden 6 bis 12 Meter durch das Erdreich gebohrt.

Vorbereitung der Anfahrtringe: Hier setzt das Schneidrad an.



Millimetergenau wird das Schneidrad an den Dichtungsring gefahren.



Das Schneidrad baut mit Schälmessern und Rollenmeißeln das Erdreich ab.



Ring für Ring

entsteht der neue Tunnel

Hinter der Abbaukammer wird im Schutze des Schildmantels die Tunnelröhre hergestellt. Ein sogenannter Ringektor verbaut die Tübbinge – Tunnelringsegmente aus Stahlbeton – innerhalb des Schildmantels. Jeweils sechs (Los Nord) bzw. sieben (Los Süd) solcher Tübbinge und ein Schlussstein werden mit speziellen Schrauben und Dichtungsbändern in den Fugen zu einem Ring montiert, der 1,50 Meter breit, 40 Zentimeter dick und rund 26 bzw. 38 Tonnen schwer ist. Um die Tübbingeringe zu koppeln, ist jeder Ring an der einen Seite mit topfähnlichen Vertiefungen

und der gegenüberliegende mit Nocken versehen. Diese Topf-Nocken-Konstruktion funktioniert vom Prinzip her ähnlich wie ein Nut- und Feder-System. Die Ringe werden miteinander verschraubt und in den Fugen abgedichtet. Mittels speziell geformter Tübbinge lassen sich bogenförmige Tunnelabschnitte bauen.

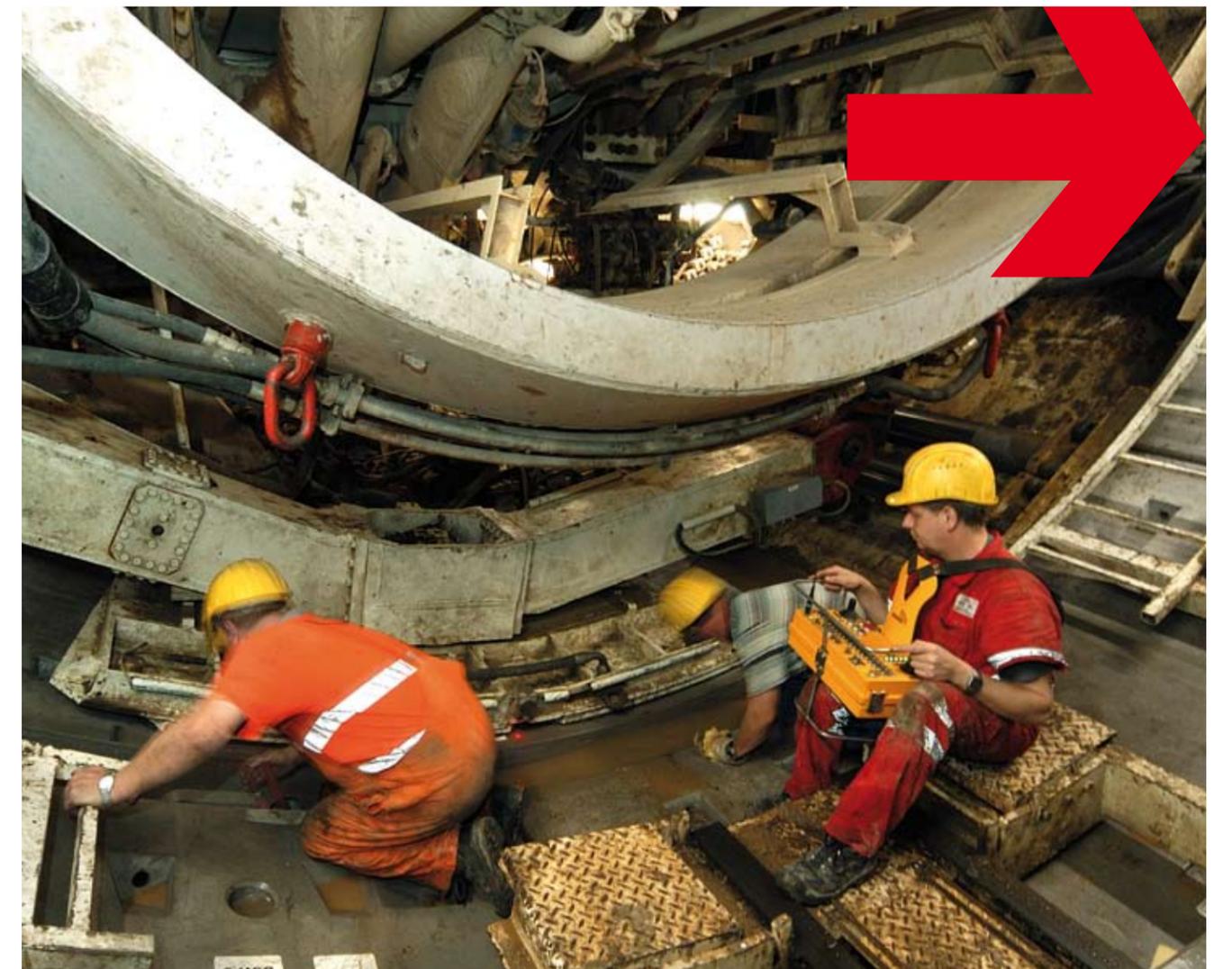
Um weiter vorwärts zu bohren, drückt sich die Maschine mit hydraulischen Pressen vom zuletzt gefertigten Tunnelring aus nach vorn. So entsteht Ring für Ring der neue Tunnel. Während die Schildma-

schine sich vorarbeitet, wird der „Spalt“ zwischen Tübbingring und dem Erdreich kontinuierlich mit einem Spezialmörtel gefüllt. So lassen sich Hohlräume im Boden und damit Setzungsschäden an den Gebäuden verhindern. Der Tunnelausbau erfolgt einschalig: Das bedeutet, der aus Tübbingungen zusammengesetzte Tunnelring schützt nicht nur den gebohrten Hohlraum gegen das Erdreich, sondern sorgt zugleich auch für die nötige Abdichtung gegen Grundwasser. Auf eine zweite, innere Betonschale für die Abdichtung kann deshalb verzichtet werden.



Am Bahngelände Bonntor wurde ein 9.000 Quadratmeter großes Basis- und Nachschublager für Tübbinge eingerichtet.

Die Ringbauer bei der Arbeit: Die tonnenschweren Betonsegmente müssen exakt passen.





Im Führerstand werden Vortrieb und Förderkreislauf elektronisch überwacht.

Maulwurf mit Augen

Seismische Vorauserkundung

Von einem Steuerstand, der sich direkt hinter Schneidrad und Ringbauanlage befindet, werden alle Aktionen kontrolliert. Die Maschinenfahrer bekommen laufend Informationen über die Steuerung und Funktionsfähigkeit der Gesamtanlage auf den Bildschirm. Eine ausgeklügelte Vermessungs- und Sensortechnik hält die Tunnelbohrmaschinen exakt auf Kurs und schützt vor unliebsamen Überras-

sungen, vor denen man trotz intensiver geologischer Voruntersuchungen nie völlig sicher sein kann. Ein seismisches System zur Vorauserkundung verleiht dem Tunnelbohrer „Augen“. Ultraschallsender, am Schneidrad angebracht, schicken seismische Wellen aus, die je nach Beschaffenheit des Erdreichs unterschiedlich reflektiert werden. Sie werden mit Spezialmikrofonen empfangen

und automatisch ausgewertet. Nachdem der Computer die Eigenschwingungen der Maschine herausgefiltert hat, errechnet er ein dreidimensionales Profil des Untergrunds und bereitet es für den Schildfahrer in Form farbiger 3D-Grafiken auf. Er kann so in Echtzeit jede Veränderung im Untergrund vor dem Bohrkopf beobachten und entsprechend reagieren. Die „Sicht“ reicht etwa 40 Meter weit voraus.

Die Nord-Süd Stadtbahn Köln entlastet den Individualverkehr. Die Folge: Weniger Staus und Unfälle, weniger Lärm und Abgase.

Präzise auf Kurs

Richtungskontrolle des Vortriebs

Damit die Röhre nicht von der festgelegten Trasse abweicht, ist Maßarbeit erforderlich. Die Kölner Schildmaschinen verfügen dafür über ein ausgefeiltes Steuerleitsystem.

An einem Punkt der bereits fertiggestellten Tunnelauskleidung wird ein rechnergesteuertes Messgerät für die Messung von Höhen- und Horizontalwinkeln angebracht. Es sendet einen Laserstrahl aus, der auf eine im vorderen

Teil der Schildmaschine installierte Zieltafel trifft. Die so gewonnenen Daten über die momentane Position der Maschine werden von einer Spezialsoftware laufend mit den programmierten Soll-Werten der Trasse verglichen. Die Software unterstützt den Fahrer bei der Richtungskontrolle und bei der Wahl der Vortriebsleistung und berechnet, falls notwendig, Korrekturen für die weitere Schildfahrt.

Geräusentwicklung

Der Schildvortrieb erzeugt Schallwerte zwischen 35 und 50 Dezibel. Das liegt zwischen dem Summen eines Kühlschranks und dem Geräusch eines Ventilators. Die Bewohner der Häuser, die gerade unterfahren werden, hören also allenfalls ein leises Brummen. Der aktuelle bauliche Zustand aller Häuser entlang der Strecke ist dokumentiert, so dass sich eventuelle Veränderungen während der Durchfahrt der Schildmaschinen feststellen lassen. Sollte es zu verfahrensbedingten Setzungen kommen, wird der Schaden durch die Versicherung der Bauherrin ausgeglichen.



Antransport

zu Wasser und zu Land



Transport per Lastschiff auf dem Rhein und

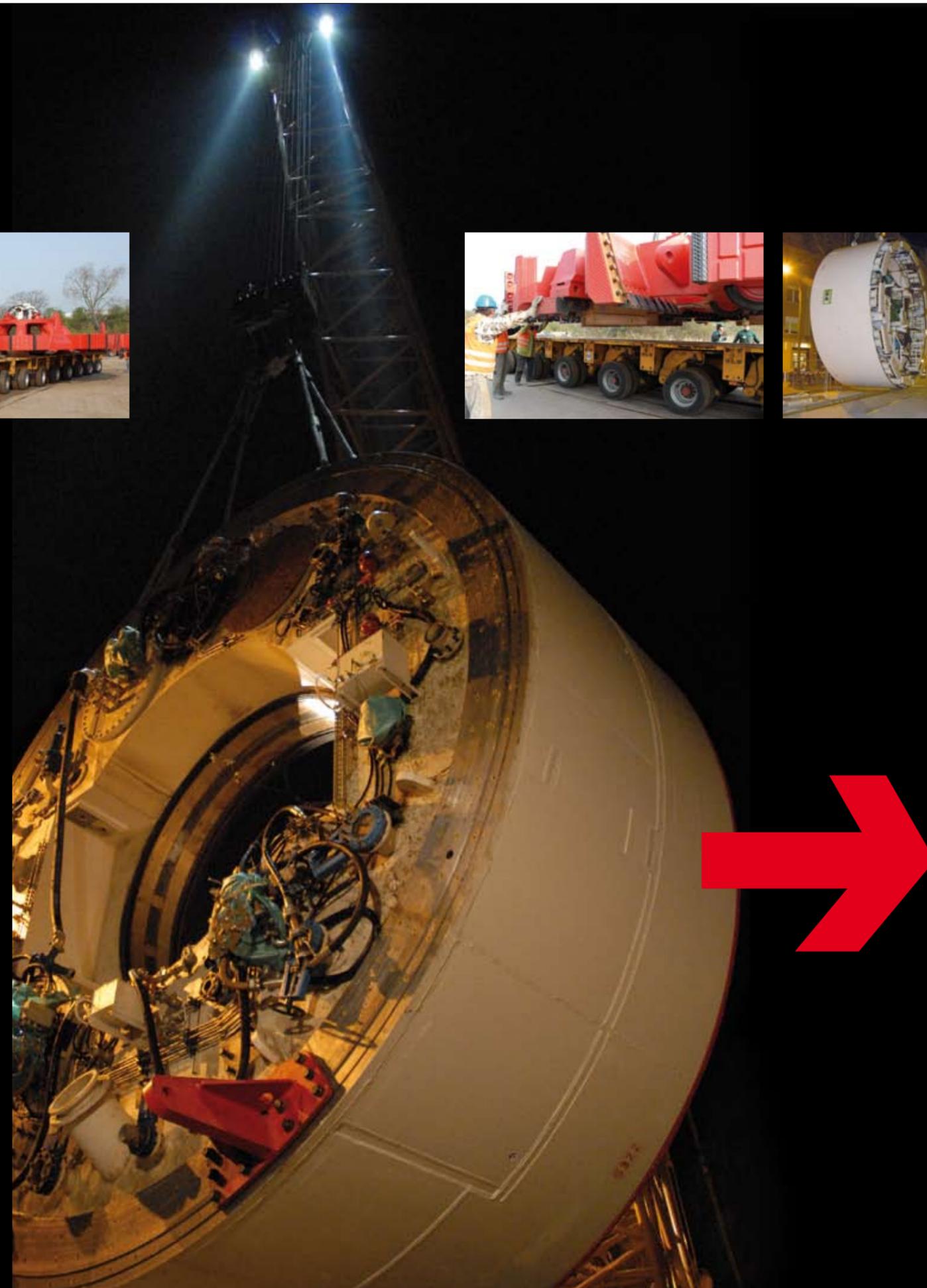


... weiter mit dem Tieflader.



Die Großmaschinen für das Los Süd werden, in Einzelteile zerlegt, von Schwanau aus auf die Reise geschickt. Zunächst geht es per Tieflader zum nahe gelegenen Hafen Kehl, danach auf vier Lastschiffen rund 400 Kilometer den Rhein hinunter nach Köln. Die Nachläufer der Maschinen sollen am Wochenende jeweils nachts vom Hafen Shell-Godorf zum Startschacht Bonner Straße/ Ecke Bonner Wall transportiert und dort montiert werden. An Ort und Stelle werden die Einzelteile mit Kränen durch eine Förderöffnung im Deckel des Startschachtes, der späteren Haltestelle Bonner Wall, an ihren Einsatzort gehoben. Die Maschine für den Norden gelangt wenig später auf ähnliche Weise zum Breslauer Platz.

Von den rund vier Kilometern der Nord-Süd Bahn-Strecke werden knapp drei Kilometer im Schildvortriebsverfahren erstellt.





Herstellung der Millimeterarbeit

Für die Nord-Süd Stadtbahn Köln Los Süd werden insgesamt 3.587 Ringe (28.696 Tübbinge) benötigt. Hersteller ist die Firma Rekers Betonwaren GmbH in Spelle. Für die Tunnelstrecke im Los Nord werden 334 Ringe (2.338 Tübbinge) von der Firma Max Bögl in Hamminkeln gefertigt.



Die Stahlbewehrung verstärkt den Tübbing.

Die Tübbinge werden im Schichtbetrieb produziert, wobei die meisten Arbeitsschritte automatisiert sind. Am Anfang steht die Herstellung der Bewehrungskörbe: Stahlstäbe werden mithilfe von Schablonen zu korbartigen Matten verschweißt, die zur Verstärkung der Tübbinge dienen. Die Bewehrungskörbe werden in die stählernen Schalungen, die dem Beton die Tübbingform geben, eingelegt. Anschließend setzt man die Tübbing-Einbauteile ein, wie beispielsweise Dübel für die Verschraubung. Insgesamt fünf Schalungen sind für die Tübbinge im Los Süd parallel im Einsatz. Nach diesen Vorbereitungen werden sie mit Beton gefüllt, der anschließend mit mithilfe eines Rütteltisches verdichtet wird. Die Qualität des Betons wird ständig überwacht. Diese Arbeitsschritte erfolgen weitgehend automatisch. Wenn die betonierten Teile ausreichend erhärtet sind, werden sie aus den Schalungen genommen und mit Dichtungsbändern und Fugeneinlagen versehen, die zum Beispiel Abplatzungen an den Kanten verhindern sollen. Tübbingproduktion ist Millimeterarbeit. Weil die vorgegebenen Maße der Tübbinge exakt einzuhalten

Tübbinge

sind, werden die Abmessungen der Schalungen permanent kontrolliert. Zusätzlich wird jeder vierzigste Tübbing mit einem Laser-Präzisionsmessgerät überprüft. Alle Tübbinge besitzen eine Identitätsnummer, unter der alle Produktionsdaten in einer Datenbank hinterlegt werden.



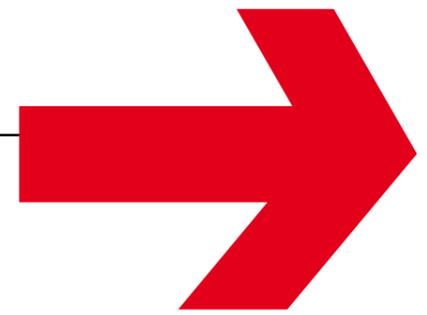
Stählerne Schalung für den Beton.



Der fertige Tübbing wiegt mehrere Tonnen.



den Tunnel transportiert werden. Die Tübbinge werden mit der Lorenbahn durch die fertiggestellten Abschnitte der Tunnelröhren bis an ihre Einbaustelle hertransportiert. Hier werden sie von einem „Erektor“ mittels Vakuumplatte aufgenommen und zu einem Ring verbaut.



Technik mit Geschichte

Schildvortrieb

Tunnelbau in Köln-Mülheim

Die Nord-Süd Stadtbahn ist nicht die erste Strecke in Köln, die im Schildvortrieb gebaut wird. Bereits im Jahre 1991 begann der Bau eines Stadtbahn-Tunnels vom Wiener Platz im Stadtteil Mülheim zur Haltestelle Herler Straße in Buchheim. Auch hier mussten dicht besiedelte Wohngebiete unterquert werden, weshalb man, mit Ausnahme des Haltestellenbaus, auf die offene Bauweise verzichtete. Die beiden eingleisigen Tunnelröhren mit je 5,50 Meter Innendurchmesser haben eine Gesamtlänge von rund 2,5 Kilometern. Im Oktober 1992 wurde die knapp 40 Meter lange Schildvortriebsmaschine zusammengesetzt. Im Dezember ging sie an den Start und grub sich von Buchheim aus in Richtung Mülheim. Bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von bis zu 13 Metern pro Tag kam sie dort im August an, wurde gewendet und bohrte auf dem „Rückweg“ die parallele Tunnelröhre. Ende

1993, ein Jahr nach dem Start und damit ein Jahr früher als geplant, war sie wieder an ihrem Ausgangspunkt angelangt. Eröffnet wurde die Strecke 1997.

Vom Schiffsbohrwurm zur Schildmaschine

Das Prinzip des Schildvortriebs wurde von Sir Marc Isambert Brunel (1769 – 1849) erfunden, einem gebürtigen Franzosen, der in England lebte. Der Architekt und Maschinenbauingenieur nahm sich eine wurmähnlich aussehende Muschel mit dem Namen Schiffsbohrwurm (Teredo navalis) zum Vorbild. Das 20 bis 40 Zentimeter lange Tier hat die Eigenart, sich durch Holz zu raspeln und den Gang unmittelbar hinter sich mit kalkartigen Sekreten auszukleiden.

1818 erhielt Brunel ein Patent auf seine Idee des Schildvortriebs, sechs Jahre später konnte er sie umsetzen: Unter seiner Leitung begannen die Bauarbeiten zur

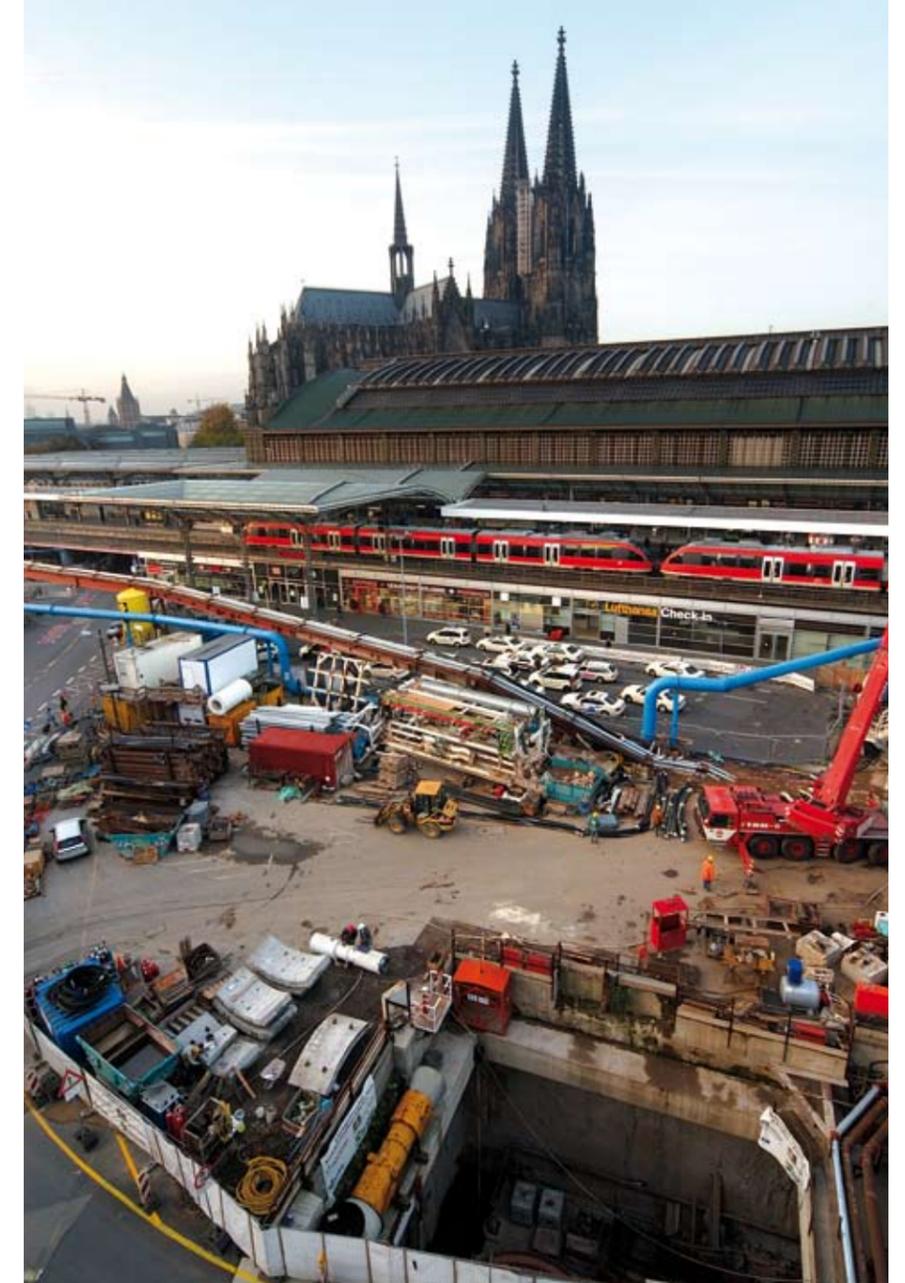
Untertunnelung der Themse. Der neue Verkehrsweg sollte vor allem dem Transport von Baustoffen für die Errichtung der neuen Docks der englischen Flotte dienen. An einem Ufer der Themse wurde ein gemauerter Senkkasten bis auf 20 Meter Tiefe abgesenkt. Aus ihm heraus wurde unter ständigem Abbau des Bodens ein rechteckiger Schild mit Hilfe von Spindeln vorgeschoben. Er war 6,78 Meter hoch, 11,43 Meter breit und unterteilt in zwölf einzelne Rahmen. Jeder Rahmen bestand aus drei Kammern, in denen jeweils ein Bergmann arbeitete. Die Ortsbrust war durch querliegende Bohlen innerhalb der Rahmen des Schildes gesichert. Der Abbau des Erdreichs geschah auf mehreren Etagen von oben nach unten. Jeder Arbeiter entfernte eine Bohle vor sich, grub eine 15 Zentimeter dicke Schicht des wässrigen Bodens ab und schob dann die Bohle vor, um das Erdreich zu stützen. Hatten alle Arbeiter ihren Abschnitt fertig, wurde der gesamte Schild vorgeschoben. Maurer kleideten die fertiggestellten

Abschnitte sofort mit Ziegelsteinen aus. Zwischen dem Tunnelfirst und der Sohle der Themse lagen nicht mehr als drei bis vier Meter. Da der Teil der Röhre, der sich unmittelbar hinter dem Schild befand, kurzfristig nicht gesichert war, kam es immer wieder zu Wasser- und Bodeneinbrüchen. Nach zwei Jahren hatte man den Tunnel um 180 Meter vorangetrieben, was einer täglichen Vortriebsleistung von 25 Zentimetern entsprach.

Im Alter von nur zwanzig Jahren übernahm Marc Isambert Brunels Sohn Isambard Kingdom (1806 – 1859) die Projektleitung. 1828 kam es zu einem besonders schweren Wassereinbruch. Sechs Menschen fanden den Tod. Erst nach siebenjähriger Baupause konnte der Vortrieb wieder aufgenommen werden. 1843 schließlich wurde der Themse-Tunnel feierlich eingeweiht. Er diente zunächst als Fußgängertunnel, denn die Docks waren in der Zwischenzeit fertiggestellt worden. 1869 wurde er zu einem Eisenbahntunnel umgebaut.

Gusseiserne Tunnelröhren

Ebenfalls im Jahr 1869 wurde in der Nähe des Towers die Themse erneut mit einem Tunnel im Schildvortriebsverfahren unterquert. Hier verwendete man zum ersten Mal im Tunnelbau Tübbinge für die Auskleidung der Röhre, die damals aus Gusseisen bestanden. Davor waren solche Tübbinge bereits in Bergwerksschächten im Ruhrgebiet eingesetzt worden. Erst ab 1930 kamen Tübbinge aus Beton in Gebrauch. James Henry Greathead, einer der leitenden Ingenieure beim Bau dieses Themse-Tunnels, brachte die Schildvortriebstechnik entscheidend voran. Auf ihn geht die Anwendung runder Schilde mit hydraulischen Vortriebspresen und der Einsatz von Druckluft zurück. Beides



gehört seitdem zum Standard der Schildmaschinenteknik.

Ein wegweisendes Projekt des Schildvortriebs in Deutschland war der Bau des ersten Elbtunnels, der von 1907 bis 1911 dauerte. Er war der erste Unterwassertunnel auf dem europäischen Kontinent. Die beiden 450 Meter langen Tunnelröhren wurden unter Druckluft aufgeföhren, um eindringendes Wasser zurückzuhalten. Der Vortriebschild bestand aus einem fünf Zentimeter dicken Eisenmantel, aus dem heraus der Boden in Handarbeit abgebaut wurde. Mit 16 hydraulischen Pressen, die einen Vorpressdruck von insgesamt 450 bar erzeugen konnten, kam der Schild pro Tag durchschnittlich 1,50 Meter voran. Die Tunnelringe wurden jeweils aus sechs Eisentübbingen zusammengenietet. In

den „alten Elbtunnel“, wie ihn die Hamburger nennen, gelangt man – damals wie heute – nicht über Rampen, sondern in Fahrstühlen.

Die Elbe in Hamburg ist auch Schauplatz eines weiteren Meilensteins in der Geschichte des Tunnelvortriebs: Von Oktober 1997 bis zum Februar 2000 entstand die vierte Elbtunnelröhre, die 2002 für den Verkehr freigegeben wurde. Gegraben wurde sie von der 8.000 PS starken „Trude“ – der Name steht für „Tief runter unter die Elbe“. Trude ist mit einem Durchmesser von 14,20 Meter einer der größten Mix-Schilde der Welt. Die 3.096 Meter lange Elbtunnelröhre (2.561 Meter davon im Schildvortrieb), ist der größte Unterwassertunnel im Lockergestein, der bislang nach diesem Verfahren hergestellt wurde. In

